에너지경제연구 제 13 권 제 2 호
Korean Energy Economic Review
Volume 13, Number 2, September 2014 : pp. 45~69

배출권 시장에서 이윤율 헤징전략의 수익성*

김현석**

요 약

본 연구는 기업이 배출권을 구매함에 있어서 이윤율 헤징 전략을 활용하여 배출권 부족분을 구매하는 것이 항상 헤징하는 전략이나 현물 구매하는 전략에 비해 최적의 구매전략이 될 수 있다는 것을 이론적으로 분석하였다. 목표효용함수를 이용하여 배출권 구매에 있어서 이윤율 헤징전략이 다른 구매전략에 비해 기업의 기대효용을 극대화 시킬 수 있음을 이론적으로 제시하였다. 또한 배출권의 선물가격이 평균회귀성을 반영할 경우 이윤율 헤징전략이 다른 구매전략에 비해 높은 기대수익을 가져옴을 수학적으로 증명하였다. 이러한 이론적 분석에 대해 실질적으로 이윤율 헤징전략의 기대효용이 다른 구매전략에 비해 높았는지 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 그리고 분산비 검정을 통해 배출권 선물가격의 평균회귀성 반영 여부도 알아보았다.

주요 단어 : 기대효용, 목표효용함수, 배출권, 이윤율 헤징, 평균회귀성
경제학문헌목록 주제분류 : C12, C15, Q54

---

* 본 논문은 에너지경제연구원 연구보고서 「배출권거래제 시행에 따른 우리나라 기업의 대응 및 성장전략 연구(2013)」의 일부 내용을 발췌하여 수정·보완한 논문임.
** 경북대학교 농업경제학과 조교수. hyun.kim@knu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

우리나라는 중장기 온실가스 감축목표를 2020년 BAU대비 30%로 정하고 여러 제도를 통해 온실가스 감축 노력을 기울이고 있다. 그 일환으로 2015년 배출권거래제의 시행을 계획하고 있다. 배출권거래제는 온실가스 다배출 기업으로 하여금 비용 효과적으로 온실가스를 감축할 수 있도록 하여 기업이 적극적으로 온실가스 감축에 참여할 수 있는 동기를 부여하게 된다. 그러나 기업은 배출권거래제라는 제도에 대한 이해 부족과 그에 따른 기업의 전략 수립의 어려움으로 제도의 도입에 대한 부정적 의견을 나타내고 있는 것이 현실이다. 이러한 기업의 시장 불확실성에 대한 불안감을 해소하기 위하여 정부는 시장안정화 조치 및 파생상품 시장의 설계 등을 관련 법안 및 시행령에 마련하고 이를 위해 노력하고 있다.

배출권거래제에 참여하는 기업은 할당된 배출권보다 많은 온실가스를 배출하게 될 경우 배출권의 부족분을 시장에서 구매해야 하며, 반대로 할당된 배출권보다 적은 온실가스를 배출할 경우에는 잉여배출권을 시장에서 판매할 수 있다. 배출권 판매기업의 경우 배출권을 시장에 판매함으로써 자사의 온실가스 감축에 따른 비용의 일부 상쇄시킬 수 있으나, 구매기업은 배출권 부족분만큼을 시장에서 구매함으로써 온실가스 감축에 대한 추가비용이 발생하게 된다. 따라서 구매기업은 배출권 가격변동에 따른 위험을 분산시키고 가능한 싼 가격에 배출권을 구매기 위하여 선물거래를 이용하여 기업의 최적 배출권 구매전략을 세워 가장 효율적으로 온실가스 감축을 달성하려고 할 것이다.

이윤율 헤징은 생산자가 헤징을 통해 위험을 최소화하고 이윤을 극대화 시킬 수 있는 최적의 전략이라고 알려져 있다. 이윤율 헤징의 수익성에 대해서는 다수의 선행연구에서 언급하고 있다(Purcell and Koontz, 1999; Parcell

and Pierce, 2009; Kim et al., 2010). 생산자는 상품의 판매 전략에 대한 결정을 생산 이전에 하게 되는데, 의사결정 시점에서의 재화의 선물가격과 자신이 받고자하는 목표가격을 비교하여 선물가격이 목표가격보다 높을 경우 선물계약을 통해 재화를 판매하는 전략을 선택하고, 선물가격이 목표가격보다 낮을 경우 생산시점에 현물로 판매하는 전략을 선택하게 된다. 즉, 이윤율 헤징은 기업이 생산 이전 판매에 대한 의사결정 시점에서 선물가격이 목표가격보다 높으면 판매하고자 하는 모든 제품을 헤징하고, 낮으면 모든 제품을 생산시점에 현물로 판매하는 전략을 말한다. 이를 생산에 투입되는 원자재를 구입하는 기업에 적용할 경우, 의사결정시점에 기업이 구입하고자 하는 원자재의 최고지불의사금액, 즉 원자재에 대한 목표가격과 선물가격을 비교하여 선물가격이 목표가격보다 낮으면 모든 원자재를 헤징하여 구매하고, 선물가격이 목표가격보다 높으면 시장의 만기시점에 모두 현물로 구입하게 된다.

할당된 배출권보다 많은 온실가스를 배출한 기업은 배출권 가격변동에 따른 위험을 분산시키는 동시에 구입비용을 최소화하기 위하여 이윤율 헤징전략을 사용할 수 있다. 즉, 의사결정시점의 배출권 선물가격이 자사가 구입 목표가격보다 낮으면 헤징을 통해 배출권의 부족분 모두를 구입하고, 반대로 높으면 만기시점에 현물을 통해 모두 구매할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 이윤율 헤징전략이 배출권을 구매하고자 하는 기업에게 있어 최적의 전략이 될 수 있음을 Holthausen(1981)의 목표효용함수를 이용하여 이론적으로 분석한다. 또한 선물가격이 평균회귀성을 가질 경우 이윤율 헤징 전략이 1)선물가격과 목표가격 간의 차이를 고려하지 않고 항상 헤징하는 전략이나 2)기준년도 배출권 시장의 만기시점에서 모든 배출권을 현물로 구입하는 전략보다 기대수익이 높다는 것을 이론적으로 증명한다.

그리고 이러한 이론이 배출권 거래시장에서 작용하였는지 실증적으로 알아보기 위해 EU ETS 데이터를 이용하여 분석하기로 한다. 이를 위하여 먼저 목표효용함수를 이용한 시뮬레이션을 통해 실제로 이윤율 헤징전략이 타 전략에 비해 수익성이 높은지 분석하고, 분산비(variance ratio) 검정을 통해

EUA 선물가격의 평균회귀성 반영여부를 알아본다. 그 다음 실증분석 결과를 바탕으로 정책적 시사점을 제시하기로 한다.

Ⅱ. 이론적 배경

본 장에서는 목표효용함수를 이용하여 이윤율 헤징전략이 현물거래나 항상 헤징을 하는 전략에 비해 기대수익이 큰 전략임을 이론적으로 보여주고자 한다. 그리고 배출권의 선물가격이 평균회귀성을 반영한다는 가정 하에 이윤율 헤징이 현물거래나 항상 헤징을 하는 전략에 비해 기대수익이 높다는 것을 이론적으로 증명하기로 한다.

1. 목표효용함수 이론

Fishburn(1977)은 생산자의 기대이윤을 이윤의 평균으로 측정하되 생산자의 목표이윤보다 낮은 이윤이 발생할 경우, 이러한 손실 부분만을 가중 편차하여 위험으로 반영하는 평균-위험모형을 제시하였다. Fishburn(1977)의 평균-위험모형을 생산자의 효용식으로 나타내면 식(1)과 같다.

$$U(x)=\begin{cases} x & \text{for all } x \geq t \\ -k(t-x)^{\alpha} & \text{for all } x \leq t. \end{cases} \quad (1)$$

위 식에서 x는 생산자의 이윤을 나타내고 t는 생산자가 목표로 하는 이윤, k는 양의 상수를 나타내며, α는 위험선호도를 보여준다. 위험선호도의 경우, $\alpha > 1$이면 생산자는 위험추구자이고 $\alpha < 1$이면 생산자는 위험회피자로 분류

할 수 있다.

Fishburn(1977)의 평균-위험모형은 목표이윤 보다 낮은 이윤이 발생하는 경우만을 가중 편차하여 위험으로 반영한 반면, Holthausen(1981)은 목표이윤 보다 높은 이윤이 발생할 경우 또한 가중 편차하여 추가이윤으로 반영하는 목표효용함수와 기대목표효용을 식(2)와 식(3)과 같이 정의하였다.

$$U(x)=\begin{cases}(x-t)^{\beta} & \text{for all } x \geq t \\ -k(t-x)^{\alpha} & \text{for all } x \leq t.\end{cases} \tag{2}$$

$$EU(x)=\int_{t}^{\infty}(x-t)^{\beta}f(x)dx-k\int_{-\infty}^{t}(t-x)^{\alpha}f(x)dx. \tag{3}$$

식(3)에서 $f(x)$는 평균 $\bar{x}$와 분산 σ_x^2인 정규분포를 따르는 x의 확률밀도 함수를 나타낸다. Kim et al.(2010)은 위의 모형을 가지고 이윤율 헤징이 최적의 헤징전략이 될 수 있는 조건을 도출하고 그 수익성을 이론적으로 증명하였다. 본 연구는 목표효용함수 이론을 배출권거래에 적용하여 배출권 구매기업의 이윤율 헤징전략에 대한 상대적 수익성을 이론적으로 분석하고, 시뮬레이션을 통해 실질적으로 다른 전략에 비해 기대이윤이 높았는지를 알아본다.

2. 목표효용함수를 이용한 이윤율 헤징의 수익성

앞 절의 식(2)와 식(3)을 이용하여 배출권을 구매해야 하는 기업의 배출권 구매에 따른 목표효용함수를 정의하면 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$U(x)=\begin{cases}(t-x)^{\beta} & \text{for all } x \leq t \\ -k(x-t)^{\alpha} & \text{for all } x \geq t.\end{cases} \tag{4}$$

여기서 t는 배출권 구매기업이 배출권을 구매하고자 하는 목표가격이며, x는 배출권 구매의 실질 가격이라고 생각할 수 있다. 즉, 배출권 구매 목표가격(t)이 실질 가격(x)보다 높을 경우 배출권의 구매는 기업에게 있어 $t-x$만큼의 이득으로 작용하게 된다. 반대로 배출권 구매 목표가격(t)이 실질 가격(x)보다 낮을 경우에는 배출권의 구매가 기업에게 $x-t$만큼의 손실로 작용한다. 이러한 목표함수를 이용하여 기대목표효용을 도출하면 식(5)와 같다.

$$EU(x) = \int_{-\infty}^{t} (t-x)^{\beta} f(x)dx - k\int_{t}^{\infty} (x-t)^{\alpha} f(x)dx \quad (5)$$

또한 기업의 배출권 구매의 실질적 비용(x_c)을 나타내면 식(6)과 같이 정의가 가능하다.

$$x_c = p_l(l-l^0). \quad (6)$$

여기서 p_l은 배출권의 가격을 의미하며, l과 l^0는 각각 기업의 온실가스 실질 배출량과 배출권 할당량을 나타낸다. 즉, 배출권 구매 기업의 경우 할당량보다 실질 배출량이 많으므로 $l-l^0$만큼의 배출권을 구매하여 $p_l(l-l^0)$만큼의 배출권 구매 비용이 발생하게 된다.

만약 기업이 배출권거래 기준년도 만기 이전에 헤징을 통해 배출권 가격의 불확실성에 대한 위험을 분산시키는 동시에 배출권 구매비용을 최소화하려 한다면 기업의 배출권 구매비용은 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_c = p_l q_l + \left(p_{l,f}^0 + B - p_{l,f}\right) q_l F. \quad (7)$$

식(8)에서 $q_l = l - l^0$이며, $p^0_{l,f}$는 기업의 헤징 의사결정 시점의 배출권 선물가격, B는 배출권의 베이시스, $p_{l,f}$는 만기일의 선물가격, F는 헤징 비율($0 \leq F \leq 1$)을 나타낸다. 만약 배출권 선물시장에서 베이시스 위험이 존재하지 않는다고 가정하고, 식의 단순화를 위해 $q_l = 1$이라고 하면 식(7)은 다음과 같이 재정의 될 수 있다.

$$x_c' = p_l + \left(p^0_{l,f} - p_{l,f}\right)F. \tag{8}$$

그리고 배출권 선물시장의 만기시점에서 배출권의 선물가격과 현물가격이 동일해진다고 가정하면 식(8)은 식(9)와 같다.

$$x_c' = p_l + \left(p^0_{l,f} - p_l\right)F = p_l(1-F) + p^0_{l,f}F.^{1)} \tag{9}$$

식(9)를 식(5)에 대입하여 기대효용함수를 재정의하면 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} EU(x_c') = &\int_{-\infty}^{A} (t - p_l(1-F) - p^0_{l,f}F)^{\beta} f(x_c')dp_l \\ &- k\int_{A}^{\infty} \left\{(1-F)p_l + p^0_{l,f}F - t\right\}^{\alpha} f(x_c')dp_l. \end{aligned} \tag{10}$$

여기서 $A = (1-F)^{-1}(t - p^0_{l,f}F)$이며, 기업의 기대효용 $EU(x_c')$가 극대화

1) 식(9)는 배출권 구매비용 중 선물거래를 통한 구매비중이 F, 현물거래를 통한 구매비중이 $(1-F)$라고 쉽게 생각할 수 있다. 또한 x_c'의 분산 $\sigma^2_{x_r}$은 p_l의 분산이 $\sigma^2_{p_l}$일 때 $(1-F)^2\sigma^2_{p_l}$이다.

되기 위해서는 선택변수 F에 대한 1계 도함수의 값이 0이 되어야 한다. 식 (10)의 1계 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\partial EU(x_c')/\partial F = & \int_{-\infty}^{A} \beta\left\{t-p_l(1-F)-p_{l,f}^0F\right\}^{\beta-1} \\ & \times(p_l-p_{l,f}^0)f(x_c')dp_l \\ & -\int_{-\infty}^{A}\left\{t-p_l(1-F)-p_{l,f}^0F\right\}^{\beta}\frac{\partial f(x_c')}{\partial\sigma_{x_c}^2} \\ & \times 2(1-F)\sigma_{p_l}^2dp_l \\ & +\left\{t-A(1-F)-p_{l,f}^0F\right\}^{\beta}f(x_c')\frac{t-p_{l,f}^0}{(1-F)^2} \\ & +k\int_{A}^{\infty}\alpha\left\{p_l(1-F)+p_{l,f}^0F-t\right\}^{\alpha-1} \\ & \times(p_l-p_{l,f}^0)f(x_c')dp_l \\ & -k\int_{A}^{\infty}\left\{p_l(1-F)+p_{l,f}^0F-t\right\}^{\alpha}\frac{\partial f(x_c')}{\partial\sigma_{x_c}^2} \\ & \times 2(1-F)\sigma_{p_l}^2dp_l \\ & +k\left\{A(1-F)+p_{l,f}^0F-t\right\}^{\alpha}f(x_c')\frac{t-p_{l,f}^0}{(1-F)^2}=0.\end{aligned} \tag{11}$$

식(11)에서 $A=(1-F)^{-1}(t-p_{l,f}^0F)$이므로 우변의 세 번째 항과 마지막 항은 0이 된다. 만약 기업이 배출권을 목표 비용보다 낮게 구매할 경우와 목표 비용보다 높게 구매하게 될 경우의 위험선호도가 같으며($\alpha=\beta$), $k=1$이라고 가정하면 위의 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\partial EU(x_c')/\partial F = \int_{-\infty}^{A} \alpha\left\{t - p_l(1-F) - p_{l,f}^0 F\right\}^{\alpha-1} \times (p_l - p_{l,f}^0) f(x_c') dp_l - \int_{-\infty}^{A} \left\{t - p_l(1-F) - p_{l,f}^0 F\right\}^{\alpha} \frac{\partial f(x_c')}{\partial \sigma_{x_c}^2} \times 2(1-F)\sigma_{p_l}^2 dp_l + \int_{A}^{\infty} \alpha\left\{p_l(1-F) + p_{l,f}^0 F - t\right\}^{\alpha-1} \times (p_l - p_{l,f}^0) f(x_c') dp_l - \int_{A}^{\infty} \left\{p_l(1-F) + p_{l,f}^0 F - t\right\}^{\alpha} \frac{\partial f(x_c')}{\partial \sigma_{x_c}^2} \times 2(1-F)\sigma_{p_l}^2 dp_l = 0. \quad (12)$$

식(12)에서 우변의 첫 번째 항과 세 번째 항은 서로 상쇄되어 없어지게 된다. 만약 기업의 의사결정 시점에서의 배출권 선물가격 $p_{l,f}^0$이 기업에서 구매하고자 하는 목표가격보다 낮을 경우 기업은 구매가능한 모든 배출권의 부족분을 $p_{l,f}^0$로 구매하고자 하므로 $F=1$이 되어 우변의 두 번째 항과 마지막 항은 0이 된다. 이 경우 식(12)는 0이 되어 기대효용이 극대화되기 위한 1계 조건을 만족시키게 된다.

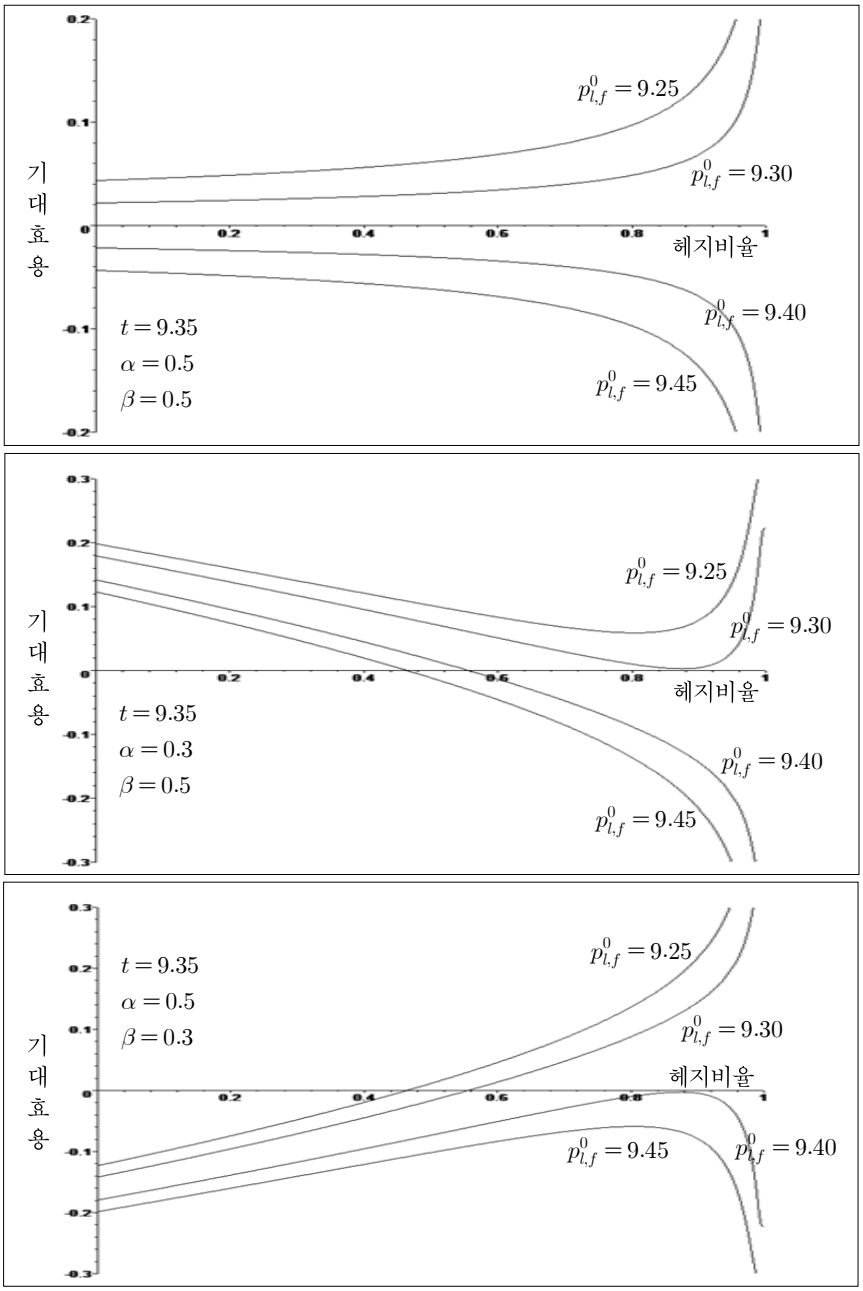
그런데 기업이 배출권을 목표 비용보다 낮게 구매할 경우와 목표 비용보다 높게 구매하게 될 경우의 위험선호도가 같지 않을 경우에는 식(11)을 위와 같은 방법으로 풀어낼 수 없기 때문에 수치계산법에 의존하여 이윤율 헤징의 기대효용을 도출해야 한다. [그림 1]은 수치계산법을 이용하여 기업이 위험중립적인 경우($\alpha=\beta$), 위험회피적인 경우($\alpha<\beta$) 및 위험선호적인 경우($\alpha>\beta$)의 이윤율 헤징 전략 활용에 따른 기대효용을 수치적으로 계산한 결과를 그

래프로 나타낸 것이다.

첫 번째와 두 번째 그림에서 볼 수 있는 것처럼 기업이 위험중립적($\alpha=\beta$)이거나 위험회피적인 경우($\alpha<\beta$)에는 이윤율 헤징 전략의 활용이 기업의 기대효용을 극대화 시켜준다는 것을 알 수 있다. 즉, 두 경우 모두 기업은 의사결정시점의 배출권 선물가격이 배출권 목표구매가격보다 작을 경우 배출권 부족분을 모두 헤징하고, 반대의 경우 모두 만기시점에 현물 구매함으로써 기대효용을 극대화시킬 수 있다. 세 번째 그림은 기업이 위험선호적인 경향일 경우를 나타내는 그림이다. 이 경우 배출권 선물가격이 배출권 목표구매가격보다 낮으면 배출권 부족분을 의사결정시점에 모두 헤징함으로써 기업은 기대효용을 극대화 시킬 수 있다. 그러나 그 반대의 경우 위험선호적 기업은 배출권 선물가격이 배출권 목표구매가격보다 높을 때 배출권 부족분의 일부를 헤징함으로써 기대효용을 극대화 시키는 것으로 나타났다.

수치계산 방식에 의한 분석을 종합해보면, 이윤율 헤징전략은 α값과 β값이 같거나 같지 않거나 모두 기업의 기대효용을 극대화 시키는 최적의 전략이 될 수 있지만, 모든 α, β에 대해서 성립하지는 않았다. 다만 다음과 같은 점에서 이윤율 헤징전략이 기업의 수익성에 긍정적으로 작용할 수 있다고 판단된다. 첫째, 배출권 선물가격과 배출권 목표구매가격의 차이에 관계없이 기업이 위험중립적 또는 위험회피적인 경우에는 이윤율 헤징 전략이 기업의 기대효용을 극대화 시켜주는 전략이 된다는 점이다. 둘째, 기업이 위험선호적일 경우에도 배출권 선물가격이 기업의 목표구매가격보다 낮을 경우에는 이윤율 헤징 전략이 기업의 기대효용을 극대화 시킬 수 있다는 점이다.

[그림 1] α, β값 변화에 따른 기대효용의 변화



3. 선물가격의 평균회귀성과 이윤율 헤징의 수익성

앞 절에서는 목표효용함수를 이용하여 이윤율 헤징전략이 기업의 효용을 극대화시켜주는 최적의 전략이 될 수 있음을 이론적으로 분석하였다. 기업의 기대효용함수 극대화 논리와 별개로 이윤율 헤징전략이 실질적으로 다른 전략에 비해 더 큰 기대 이윤을 발생시킨다면, 기업이 이윤율 헤징전략을 사용하게 되는 충분한 유인을 제공하게 된다. 따라서 본 절에서는 배출권 시장에서 선물가격이 평균회귀성을 가질 경우 현물거래나 항상 헤징을 시도하는 전략에 비해 더 큰 기대이윤을 가져오게 됨을 이론적으로 분석하고자 한다.

평균회귀성을 가지는 선물가격 형성과정을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$p_l - p_{l,f}^0 = \gamma(\overline{p_l} - p_{l,f}^0) + \epsilon \tag{13}$$

여기서 p_l은 헤징 만료시점의 배출권의 선물가격과 같아지는 임의의 배출권 현물가격을 나타내며, $p_{l,f}^0$는 헤징시점의 배출권의 선물가격, $\overline{p_l}$는 장기 평균 현물가격, ϵ은 평균 0과 분산 σ_ϵ^2인 오차항을 나타낸다. 또한 추정계수 γ는 헤징시점의 선물가격 $p_{l,f}^0$가 장기 평균 현물가격 $\overline{p_l}$로 회귀하는 평균회귀 속도를 나타낸다.

한 기준년도 동안 기업의 배출권 구매 기대비용은 식(9)를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[x_c'] = E[p_l(1-F) + p_{l,f}^0 F] \tag{14}$$

만약 배출권의 선물가격이 평균회귀성을 가진다고 가정하면 식(14)는 식

(15)와 같이 다시 표현될 수 있다.

$$
\begin{aligned}
E[x_c'] &= E\left[(1-F)\left\{p_{l,f}^0+\gamma(\overline{p_l}-p_{l,f}^0)\right\}+p_{l,f}^0F\right] \\
&= E\left[(1-F)p_{l,f}^0+\gamma(1-F)(\overline{p_l}-p_{l,f}^0)+p_{l,f}^0F\right] \\
&= (1-F)p_{l,f}^0+\gamma(1-F)(\overline{p_l}-p_{l,f}^0)+p_{l,f}^0F \\
&= p_{l,f}^0-p_{l,f}^0F+\gamma(1-F)(\overline{p_l}-p_{l,f}^0)+p_{l,f}^0F \\
&= p_{l,f}^0+\gamma(1-F)(\overline{p_l}-p_{l,f}^0).
\end{aligned} \tag{15}
$$

배출권 구매기업은 장기 평균 현물가격을 기업이 생각하는 배출권판매의 목표가격으로 설정한다고 가정하면 식(15)에서 헤징시점의 배출권 선물가격 $p_{l,f}^0$가 장기 평균현물가격 $\overline{p_l}$보다 낮을 때, 기업은 모든 잉여배출권을 선물 매수하게 되어 $F=1$이 되고, 따라서 식(15)는 식(16)으로 재정의 될 수 있다.[2)]

$$
\begin{aligned}
&E\left[x_c' \,\middle|\, H_M, p_{l,f}^0 < \overline{p_l}\right] = p_{l,f}^0 = E\left[x_r' \,\middle|\, H_A\right] \\
&\quad < E\left[p_{l,f}^0+\gamma(\overline{p_l}-p_{l,f}^0)\right] = E[p_l] = \overline{p_l} = E\left[x_r' \,\middle|\, H_S\right]
\end{aligned} \tag{16}
$$

여기에서 H_M은 이윤율 헤징전략을 나타내고 H_A는 기업이 의사결정 시점에서 선물가격과 목표가격의 차이에 관계없이 항상 헤징하는 전략, H_S는 기준년도의 마지막 시점에서 모든 배출권을 현물로 매입하는 전략을 나타낸다. 평균회귀 속도인 γ의 값은 항상 양의 수이므로 의사결정시점에서 $p_{l,f}^0$가 $\overline{p_l}$보다 낮으면 이윤율 헤징전략(H_M)은 항상 헤징하는 전략(H_A)과 같은 수준의 비

2) 배출권 단위당 목표가격은 기업의 온실가스 한계감축비용으로 잡을 수도 있지만, 이는 장기적인 시장균형에서 배출권의 장기 평균 현물가격과 동일하다고 볼 수 있으므로 장기 평균 현물가격을 기업의 목표가격으로 가정할 수 있다.

용을 발생시키지만, 현물매입 전략(H_S)보다는 작은 비용을 발생시키게 된다.

반대로 선물가격 $p_{l,f}^0$가 기업의 목표가격인 $\overline{p_l}$보다 높으면 $F=0$이므로, 식 (15)는 다음과 같이 나타내어진다.

$$E\left[x_c' \middle| H_M, p_{l,f}^0 > \overline{p_l}\right] = p_{l,f}^0 + \gamma(\overline{p_l} - p_{l,f}^0) = \overline{p_l} = E\left[x_r' \middle| H_S\right] \qquad (17)$$
$$< E(p_{l,f}^0) = p_{l,f}^0 = E\left[x_r' \middle| H_A\right]$$

여기에서도 γ의 값은 항상 양의 수이므로 의사결정시점에서 $p_{l,f}^0$가 $\overline{p_l}$보다 높으면 이윤율 헤징전략(H_M)은 현물매입 전략(H_S)과 같은 수준의 비용을 발생시키지만, 항상 헤징하는 전략(H_A)보다는 작은 비용을 발생시키게 된다.

따라서 배출권의 선물가격이 평균회귀성을 가질 경우, 이윤율 헤징전략을 활용하는 기업의 배출권 구매에 따른 기대비용이 다른 구매전략보다 이론적으로 높지 않다는 것을 알 수 있다. 이는 반대로 말해 배출권 구매기업이 이윤율 헤징을 이용하여 배출권의 부족분을 구매할 경우, 구매비용을 최소화하여 기업 전체적인 수익성은 다른 전략을 활용하여 배출권을 구매하는 경우보다 최소한 작지는 않다는 것을 의미한다.

Ⅲ. 모형 및 분석자료

1. 기대효용의 도출

앞 장에서 목표효용함수를 이용하여 배출권거래제에 참여하는 기업의 배출권 거래에 관한 최적전략으로 이윤율 헤징을 선택함으로써 이윤을 극대화할 수 있다는 것을 이론적으로 살펴보았다. 이러한 이론적 분석을 바탕으로 EU

ETS에서 기업이 이윤율 헤징을 선택하였을 때, 항상 헤징하는 전략이나 만기 시점에서 현물 거래하는 전략보다 기대수익이 실질적으로 높았는지를 시뮬레이션을 통해 알아볼 필요가 있다. 본 연구에서는 EU ETS의 선물 및 현물가격을 이용하여 이윤율 헤징전략의 기대효용을 선물가격과 목표가격의 차이를 고려하지 않고 항상 헤징하는 전략과 기준년도의 만기시점에서 배출권을 모두 현물로 구매하는 전략의 기대효용과 비교분석한다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 위해서 완전예측(perfect foresight) 모형을 사용하였다.[3] 이는 선물시장의 만기 시점의 실질 베이시스가 기업이 헤징여부를 결정하는 의사결정시점에 완전 예측가능하다는 것이다. 따라서 배출권을 구매하는 기업은 의사결정시점의 배출권 선물가격과 베이시스의 합이 목표판매가격보다 낮으면 모든 잉여배출권을 구매하고, 높으면 만기 시점에 모두 현물 구매하게 된다.[4]

본 연구에서는 배출권거래 기업이 위험 중립적이라는 가정 하에 α와 β값 모두 0.5로 가정하고 분석하였다. 식(4)를 이용하여 2005년부터 2012년까지 각각 배출권 판매기업과 구매기업의 효용을 구한 다음, 기대효용은 식(18)과 같이 효용의 평균값을 이용하여 계산하였다.

$$EU(x) = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} U(x_i) \tag{18}$$

또한 이점비교 검정(paired difference test)을 통해 이윤율 헤징전략과 항상 헤징하는 전략, 현물 거래전략 간 기대효용이 실질적으로 차이가 있는지를 검

3) 본 연구에서는 선물시장에 베이시스 위험이 없는 경우와 베이시스 위험이 있는 두 가지 경우를 모두 고려하였으나, 베이시스 위험이 있는 경우와 없는 경우 모두 같은 결과를 도출하였기 때문에 베이시스 위험이 없는 경우만을 본문에 제시하기로 한다.

4) 베이시스 위험을 고려할 경우, 배출권 구매기업은 의사결정시점에서의 선물가격과 평균베이시스의 합이 목표 구매가격보다 낮으면 배출권의 부족분을 모두 선물로 구매하고 그와 반대일 경우 부족분 모두를 만기시점에 현물로 구입하게 된다.

정하기로 한다. 즉, 이점비교 검정은 각 전략 간 기대효용의 차이가 평균 0의 값을 갖는다는 귀무가설을 검정한다.

2. 평균회귀성 분석

배출권의 선물가격이 평균회귀성을 나타낼 경우 이윤율 헤징전략의 기대수익은 항상 헤징하는 전략이나 현물거래하는 전략보다 최소한 높거나 같은 수준이라는 것을 앞장에서 이론적으로 살펴보았다. 본 절에서는 EUA의 선물가격이 실질적으로 평균회귀성을 나타냈는지를 알아보기 위한 방법인 분산비(variance ratio) 검정에 대해 알아본다.

분산비 검정은 연속적인 가격 p_t의 자연대수가 임의보행(random walk)한다면 k기간 동안 수익의 분산은 1기간 동안 수익 분산의 k배와 같게 된다는 배경에서 출발한다. k기간 분산비 $VR(k)$은 식(19)와 같이 정의될 수 있다.

$$VR(k) = \frac{\sigma^2(k)}{k\sigma^2(1)} \tag{19}$$

여기서 $\sigma^2(k)$은 k번째 차분의 분산을 나타내며 $\sigma^2(1)$은 첫 번째 차분의 분산을 나타내고, 이 때 분산비 검정의 귀무가설은 $VR(k)=1$이 된다. $VR(k)$이 1과 같다는 것은 그 가격이 임의보행함을 의미하며, $VR(k)$이 1보다 작으면 그 가격이 평균회귀함을 의미하게 된다.

분산비 검정은 Lo and MacKinlay (1988)의 방법을 도입하여 시행하는데 분산비는 다음과 같이 계산된다.

$$\sigma^2(k) = \frac{1}{m}\sum_{t=k}^{nk}\left(p_t - p_{t-k} - k\hat{\mu}\right)^2 \tag{20}$$

여기서 m과 $\sigma^2(1)$, $\hat{\mu}$는 아래와 같이 정의된다.

$$m = k(nk-k+1)\left(1-\frac{k}{nk}\right) \tag{21}$$

$$\sigma^2(1) = \frac{1}{(nk-1)}\sum_{t=1}^{nk}\left(p_t - p_{t-1} - \hat{\mu}\right)^2 \tag{22}$$

$$\hat{\mu} = \frac{1}{nk}\sum_{t=1}^{nk}(p_t - p_{t-1}) = \frac{1}{nk}(p_{nk} - p_0) \tag{23}$$

식(23)에서 p_0와 p_{nk}는 각각 연속된 가격의 첫 번째와 마지막 관측치를 나타낸다. 그런데 선물시장에서의 수익은 조건부 이분산성을 가지는 것으로 알려져 있다(Yang and Brorsen, 1993). 따라서 본 연구에서는 이분산성 하에서 분산비의 점근분산(asymptotic variance)을 식(24) 및 (25)를 이용하여 계산하고, 이를 이용하여 식(26)과 같이 표준정규분포를 계산하였다.

$$\phi(k) = \sum_{j=1}^{k-1}\left[\frac{2(k-j)}{k}\right]^2 \hat{\delta}(j) \tag{24}$$

$$\hat{\delta}(j) = \frac{\sum_{t=j+1}^{nk}\left(p_t - p_{t-1} - \hat{\mu}\right)^2\left(p_{t-j} - p_{t-j-1} - \hat{\mu}\right)^2}{\left[\sum_{t=1}^{nk}\left(p_t - p_{t-1} - \hat{\mu}\right)^2\right]^2} \tag{25}$$

$$Z(k) = \frac{VR(k)-1}{[\phi(k)]^{1/2}} \xrightarrow{a} N(0,1) \tag{26}$$

3. 분석자료

본 연구는 EU ETS가 시작된 이후 2012년까지 EU ETS 1기와 2기의 EUA 선물시장 데이터를 활용하였다. 기대효용을 구하기 위하여 EUA 선물시장의 만기시점인 12월 셋째 주 월요일 보다 한 달 앞선 11월 셋째 주 월요일을 기업의 의사결정시점으로 가정하고 그 시점의 선물가격을 사용하였다.[5] 또한 베이시스를 알기 위하여 EUA 현물가격을 사용하였다.

선물가격이 평균회귀성을 반영하는지에 대한 분산비 검정을 위하여 각 기준년도의 일별 EUA 선물가격을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 EUA 현물 및 선물가격은 모두 Point Carbon사의 데이터베이스에서 획득하였다.

Ⅳ. 실증분석 결과

1. 목표효용함수의 시뮬레이션 결과

<표 1>은 기업의 배출권 구매전략에 따른 기대효용을 나타낸다. 기업이 이윤율 헤징전략을 활용하여 배출권의 부족분을 시장에서 구매하는 경우 항상 헤징하는 전략이나 현물 구매전략에 따라 배출권을 구매하는 경우보다 평균적으로 높은 기대효용을 얻는 것으로 나타났다. 이는 배출권 구매기업에게 이윤율 헤징전략은 배출권 구매에 있어 비용을 최소화하는 최적의 전략이 될 수 있음을 의미한다. 그리고 배출권 구매에 있어 항상 헤징하는 전략보다는 만기시점에 현물로 배출권을 구매하는 것이 더 높은 기대효용을 가져오는 것으로 나타났다.

---

5) 본 연구에서는 배출권 구매기업의 의사결정담당자가 배출권의 시장가격과 기업의 감축량 등을 충분하게 고려한 뒤, 기준연도의 만기시점 바로 직전 달에 배출권 구매전략 의사를 결정한다고 가정하고 시뮬레이션을 진행하였다.

〈표 1〉 구매전략별 기대효용

구 분	전략		
	이윤율 헤징	항상 헤징	현물 거래
기대효용	1.99	0.83	1.05

배출권 구매기업의 구매전략별 기대효용 간의 차이가 실질적으로 통계적 유의성을 가지는지를 검정하기 위하여 이점비교 검정을 실시하였다. <표 2>는 그 결과를 보여주고 있다. 이점비교 검정은 각 전략 간 기대효용의 차이가 평균 0의 값을 갖는다는 귀무가설을 검정하였다.

〈표 2〉 구매전략별 기대효용의 이점비교 검정 결과(*t*-통계량)

구 분	이윤율헤징 vs 항상헤징	이윤율헤징 vs 현물거래
기대효용	1.88	1.53

<표 2>에서 볼 수 있듯이 이윤율 헤징전략의 기대효용과 항상 헤징하는 전략이나 현물 구매전략의 기대효용 간의 차이는 통계적 유의성을 갖지는 않는 것으로 나타났다. 이는 시뮬레이션의 결과가 통계적 신뢰성을 가지지 못한다는 것을 의미한다. 이러한 통계적 유의성에 대한 문제는 시뮬레이션에 사용된 기간이 8개년으로 짧고, 그 기간 동안 EU ETS 시장의 과다할당에 따른 가격의 변동성이 컸다는 점들이 원인으로 작용했다고 판단된다. 또한 본 연구에서 사용한 Holthausen(1981)의 목표효용함수가 모든 배출권 구매기업의 목표효용함수로 일반화되지 못할 가능성이 있다는 점도 그 원인이 될 수 있다.

2. 평균회귀성의 검정

앞 절에서는 목표효용함수 이론을 통해 이론적으로 증명한 이윤율 헤징의

EU ETS 시장에서의 최적화 여부를 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 본 절에서는 이윤율 헤징 전략이 항상 헤징하는 전략이나 현물거래하는 전략보다 최소한 높은 기대수익을 가져오기 위해서는 배출권의 선물가격이 평균회귀성을 가져야 한다는 이론의 성립을 위해 선물가격의 평균회귀성 반영 여부를 검정하였다.

배출권 선물가격의 평균회귀성을 검정하기 위해서 분산비(variance ratio) 검정을 사용하였으며, 그에 대한 결과는 <표 3>과 같다. 분산비 검정결과 $k=2$인 기준년도 2005년, 2009년, 2010년, 2011년 EUA 선물을 제외한 모든 EUA 선물가격의 평균회귀성 검정은 10% 유의수준에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 또한 통계적으로 유의한 경우도 분산비의 값이 1보다 큰 것으로 나타났는데, 이는 배출권의 가격이 평균수준으로 수렴하는 평균회귀성을 가지기 보다는 추세(trend)를 반영하고 있는 것을 의미한다. 따라서 EUA 선물가격에 대한 분산비 검정으로는 EUA 선물가격이 평균회귀성을 반영하고 있지 않다는 결과가 도출되었다. 이 결과는 이윤율 헤징 전략이 다른 배출권 구매 전략보다 높은 수익성을 보장한다는 증거를 찾지 못했음을 보여주는 것이다.

〈표 3〉 EU ETS 선물가격의 분산비 검정 결과

기준년도	k	$VR(k)$	Z 통계량
2005	2	1.31	3.06*
	5	1.56	1.56
	10	1.87	1.58
2006	2	1.12	0.59
	5	1.31	0.78
	10	1.54	0.92
2007	2	0.84	-0.78
	5	0.79	-0.59
	10	0.95	-0.11
2008	2	1.08	1.51
	5	1.12	0.77
	10	1.12	0.46
2009	2	1.10	2.13*
	5	1.12	0.80
	10	1.12	0.49
2010	2	1.07	1.65**
	5	1.07	0.53
	10	1.08	0.36
2011	2	1.09	2.13*
	5	1.10	0.86
	10	1.13	0.67
2012	2	1.07	1.88
	5	1.07	0.63
	10	1.04	0.24

주 : *와 **는 각각 5%, 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄.

Ⅳ. 결론 및 시사점

본 연구는 기업이 배출권을 구매함에 있어서 배출권 가격 변동에 따른 위험 부담을 줄이고, 배출권 구매비용을 극소화하기 위한 전략을 살펴보았다. 이윤율 헤징은 생산자가 헤징을 통해 위험을 최소화하고 이윤을 극대화 시킬 수 있는 최적의 전략으로 흔히 사용되고 있다. 본 연구에서는 목표효용함수를 도입하여 기업이 배출권을 구매함에 있어서 이윤율 헤징 전략이 다른 구매전략에 비해 기업의 수익성에 긍정적으로 작용할 수 있다는 것을 이론적으로 분석하였다. 또한 배출권의 선물가격이 평균회귀성을 반영한다는 가정 하에 이윤율 헤징을 이용한 배출권 구매전략은 다른 구매전략보다 높은 수익을 기대할 수 있음을 이론적으로 제시하였다.

이러한 이론 분석을 바탕으로 EU ETS 1기와 2기의 실질 EUA 현물 및 선물시장 가격을 이용하여 기업의 배출권 구매전략별 기대효용을 분석하고 EUA 선물가격의 평균회귀성 반영여부를 검정하였다. 기업의 구매전략별 기대효용에 대한 시뮬레이션 결과, 이윤율 헤징전략이 항상 헤징하는 전략이나 만기시점에 현물로 구매하는 전략보다 평균적으로 높은 기대효용을 가져오는 것으로 나타났으나, 이를 통계적으로는 입증할 수 없었다.

EUA 선물가격의 평균회귀성 반영여부에 대한 분산비 검정에서는 EUA 선물가격이 평균회귀성을 반영하고 있다는 것을 통계적으로 입증할 수 없었다. 따라서 배출권의 선물가격이 평균회귀성을 반영한다는 가정 하에서 이윤율 헤징전략이 다른 전략들에 비해 최소한의 기대수익을 보장할 수 있다는 이론적 분석이 실증적으로 입증되지는 못하였다.

실증분석의 결과가 이론적 바탕의 전부를 통계적으로 뒷받침 해주지 못하는 이유는 다음과 같이 설명될 수 있을 것이다. 첫째, Holthausen(1981)이 제시한 목표효용함수가 모든 배출권 구매기업의 목표효용함수로 일반화되지 못

할 가능성이 있다. 즉, 본 연구에서 사용된 Holthausen(1981)의 목표효용함수가 일부 기업의 목표효용함수를 설명하지 못할 수 있다는 것이다. 둘째, EU ETS시장이 개장 이래 1기에는 배출권의 과다할당으로 인해 현물가격이 0유로까지 급락하는 현상을 경험하였으며, 2기에서도 잉여배출권으로 인한 지속적인 가격의 하락을 보였다는 점이다. 이는 가격 변동성 증가에 따른 시뮬레이션의 통계적 유의성 감소 원인이 될 수 있다. 또한 배출권 현물 가격의 폭락 및 지속적인 저가격 추세가 선물가격에 반영됨으로써 가격의 예측 불가능성으로 인해 배출권의 선물가격이 평균회귀성을 가지지 못한 것으로 볼 수 있다.

본 논문은 기업들이 이윤율 헤징 전략을 이용했을 경우, 다른 배출권 구매 전략에 비해 높은 기대효용을 가져다준다는 이론적 바탕을 제시했다는데 의미가 있다. 또한 실증분석이 이론적 측면을 통계적으로 모두 입증하지는 못하였으나, EU ETS 1기와 2기와 같이 불안정한 시장 상황에서도 배출권 구매에 있어 이윤율 헤징전략이 항상 헤징하거나 만기시점에서 현물 구매하는 전략보다 평균적으로 높은 기대효용을 가져왔다는 것을 알 수 있었다. 이는 기업에게 있어서 이윤율 헤징 전략이 배출권 구매 전략으로써 다른 구매 전략에 비해 더 큰 유인을 제공할 수 있음을 의미할 것이다.

우리나라는 2015년 배출권 거래제의 시행을 앞두고 있으나, 기업들이 온실가스 감축비용에 대한 부담감과 배출권 시장의 불확실성에 대한 불안감을 가지고 있다. 배출권 거래제는 이론적으로 가장 비용효과적인 온실가스 감축 수단으로 알려져 있으며, 기업들은 선물시장을 활용한 헤징을 통해 불확실성을 분산시킬 수 있다. 본 논문에서는 이윤율 헤징 전략이 시장의 불확실성을 줄이는 동시에 가장 비용효과적인 온실가스 감축수단이 될 수 있음을 제시하였다. 따라서 우리나라의 온실가스 다배출 기업들 또한 이윤율 헤징전략을 활용하여 배출권 시장의 불확실성에 따른 위험을 분산시키고, 온실가스 감축 비용을 최소화할 수 있을 것으로 기대한다.

접수일(2014년 7월 23일), 게재확정일(2014년 9월 2일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

Fishburn, P.C. 1977. "Mean-Risk Analysis Associated with Below-Target Returns." *American Economic Review* 67:116-126

Holthausen, D.M. 1981. "A Risk-Return Model with Risk and Return Measured as Deviations from a Target Return." *American Economic Review* 71:182-188.

Kim, H.S., B.W. Brorsen, and K.B. Anderson. 2010. "Profit Margin Heding." American *Journal of Agricultural Economics* 92:638-653.

Lo, A.W., and A.C. MacKinlay. 1988. "Stock Market Prices Do Not Follow Random Walks: Evidence from Simple Specification Test." *Review of Financial Studies* 1: 41-66.

Parcell, J., and V. Pierce. 2009. An Introduction to Hedging Agricultural Commodities with Futures Risk Management Series, University of Missouri Extension. Available at http://agebb.missouri.edu/mgt/risk/introfut.htm.

Purcell, W.D., and S.R. Koontz. 1999. Agricultural Futures and Options: Principles and Strategies. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Yang, S.-R., and B.W. Brorsen. 1993. "Nonlinear Dynamics of Daily Futures Prices: Conditional Heteroskedasticity or Chaos?" *Journal of Futures Markets* 13:175-191.

ABSTRACT

Profitability of Profit Margin Hedging Strategy in the Emission Allowance Market

Hyun Seok Kim*

This article theoretically analyzes profit marin hedging can be optimal strategy to buy emission allowances. Target utility function is used to show the expected utility of profit margin strategy is greater than that of other strategies such as always hedging and buying at expiration with spot price. Additionally, this article provides a mathematical proof that Profit margin hedging is more profitable than other strategies if futures prices of emission allowances are mean reverting. Simulations are conducted to compare the expected utility of a profit margin hedging strategy with the expected utility of other strategy. In addition, variance ratio test is conducted to test mean reversion in futures prices of emission allowances.

Key Words : emission allowances, expected utility, mean reversion, profit margin hedging, target utility function

JEL Codes : C12, C15, Q54

* Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Kyungpook National University. hyun.kim@knu.ac.kr